



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS ÁGRARIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL



VICTOR DOS SANTOS GUIMARÃES

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA EM VARIEDADES DE
CAPIM-ELEFANTE NA ZONA DA MATA DE ALAGOAS**

RIO LARGO - Alagoas

Dezembro – 2022

VICTOR DOS SANTOS GUIMARÃES

**CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA EM VARIEDADES
DE CAPIM-ELEFANTE NA ZONA DA MATA DE ALAGOAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas/AL, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Bastos Lira

Co-orientador: Pesq. Dr. Anderson Carlos Marafon

Maceió, 2022.

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

G963c Guimarães, Victor dos Santos
 Crescimento, produção e qualidade da biomassa em variedades de capim-elefante na zona da mata de Alagoas. / Victor dos Santos Guimarães – 2023.
 45 f.; il.

 Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2023.

 Orientação: Dr. Guilherme Bastos Lira
 Coorientação: Dr. Anderson Carlos Marafon

 Inclui bibliografia

 1. Planta - desenvolvimento. 2. Forragem - produção. 3. Tabuleiros costeiros do Nordeste. I. Título

CDU: 636.084

Folha de aprovação

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lira
(Orientador, CECA/UFAL)

Pesq. Dr. Anderson Carlos Marafon
(Co-orientador, Embrapa Tabuleiros Costeiros)

Banca Examinadora:

(Prof. Dr. Gustavo Bastos Lyra -Membro Interno)

(Dr. Adolpho Emanuel Quintela da Rocha - Membro Externo)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por sempre atender minhas preces.

Aos meu pais Ralf Guimarães e Maria José dos Guimarães, por todo amor, carinho e que por mais que passasse pelos momentos mais adversos, nunca deixaram de acreditar e investir em minha educação.

A memória do meu avô José Egídio dos Santos por ser o principal incentivador para eu ter feito a graduação em agronomia e por permanecer vivo em minha vida todos os dias;

A minha vó Leontina Maria dos Santos por todo amor, paciência e o exemplo de fé e sabedoria que ela me proporciona a cada dia de minha vida.

Ao meu irmão Bruno Guimarães, por todos os conselhos, a amizade e a irmandade.

A minha esposa Amanda Guimarães V. Pedrosa por sempre me incentivar, estar ao meu lado nas melhores decisões de minha vida, por todo carinho, por todo amor e companheirismo.

Aos professores Dr. Guilherme Bastos Lyra, Dr. André Luiz de Carvalho, por todos os ensinamentos, conselhos, paciência e oportunidade de fazer parte do grupo de pesquisa do laboratório de agrometeorologia.

Ao pesquisador Dr. Anderson Carlos Marafon por todos os conselhos, os ensinamentos, a paciência, o acolhimento, a amizade e a oportunidade de estar em seu grupo de pesquisa.

Aos meus companheiros de laboratório Adriana Neutzling Bierhals, Hugo Leoncio Paiva e Jonas Paulino dos Santos, pela amizade e o companheirismo ao longo destes anos.

Ao corpo discente e docente do Programa de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas pelo conhecimento transmitido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DA BIOMASSA EM VARIEDADES DE CAPIM-ELEFANTE NA ZONA DA MATA DE ALAGOAS

GUIMARÃES, V. S. Crescimento, produção e qualidade da biomassa em variedades de capim-elefante na Zona da Mata de Alagoas. 2022. 44 f. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal) Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Alagoas, 2022.

RESUMO: O objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento, a produção e a qualidade da biomassa de três genótipos de capim-elefante (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) cultivados na região da Zona da Mata do Estado de Alagoas para uso energético da biomassa, com auxílio de modelos de crescimento semiempíricos. Foram avaliados três genótipos de capim-elefante (BRS Capiáçu, Madeira e Pasto Panamá) cultivados em uma área experimental implantada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), situado no município de Rio Largo, Estado de Alagoas. Foram avaliadas oito diferentes idades de corte (30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 e 300 dias após o corte) com avaliações de crescimento correspondentes com análises do índice de área foliar (IAF), da altura média das plantas, do diâmetro médio dos colmos e do número médio de perfilhos por metro. Além dessas variáveis, foi determinado o acúmulo de biomassa da parte aérea e caracterizada a qualidade energética da biomassa a partir da determinação das concentrações de carbono, nitrogênio, celulose, hemicelulose, lignina e cinzas. Foram utilizados modelos de crescimento semiempíricos (logístico, PicoLog e polinomial) para o tratamento dos dados, os quais foram eficientes para estimar a maioria das variáveis analisadas. Os resultados demonstraram que as três variedades de capim-elefante apresentam comportamento fenológico e produtivo semelhante, cujo período de máximo crescimento ocorre até os 120 dias após o corte, com significativos incrementos no acúmulo de biomassa. O perfilhamento é máximo aos 30 dias após o corte, com redução e estabilização a partir dos 60 dias após o corte. Os teores de cinzas diminuem aos 60 dias após o corte nas variedades BRS Capiáçu e Pasto Panamá e aos 90 dias após o corte na variedade Madeira. Os teores de celulose aumentam e os teores de nitrogênio diminuem aos 60 dias após o corte, enquanto os teores de lignina aumentam aos 120 dias após o corte nas variedades Madeira e Pasto Panamá e aos 150 dias após o corte na BRS Capiáçu.

Palavras-chave: *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, desenvolvimento da planta, produção de forragem, Tabuleiros Costeiros do Nordeste.

GROWTH, PRODUCTION AND QUALITY OF ELEPHANT GRASS VARIETIES BIOMASS FOR ENERGY USE

GUIMARÃES, V. S. Growth, biomass production and quality of elephant grass varieties at Zona da Mata of Alagoas State. 2022. 44 f. **Dissertação** (Mestrado em Produção Vegetal) Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade Federal de Alagoas, 2022.

ABSTRACT: The objective of this research was to evaluate the growth, production and biomass quality of three genotypes of elephant grass (*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone) cultivated in the Zona da Mata region of the State of Alagoas for energy use of biomass, using semi-empirical growth models. Three elephant grass genotypes (BRS Capiaçú, Madeira and Pasto Panamá) cultivated in an experimental area located at the Center for Agricultural Sciences of the Federal University of Alagoas (CECA/UFAL), located in the municipality of Rio Largo, State of Alagoas, were evaluated. Eight different cutting ages were evaluated (30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 and 300 days after cutting) with corresponding growth assessments with analyzes of leaf area index (LAI), average plant height, the average diameter of the culms and the average number of tillers per linear meter. In addition to these characteristics, the accumulation of shoot biomass was determined and the energy quality of the biomass was characterized by determining the concentrations of carbon, nitrogen, cellulose, hemicellulose, lignin and ash. Semi-empirical growth models (logistic, PicoLog and regression) were used to process the data, which were efficient to estimate the majority of analyzed variables. The results showed that the three varieties of elephant grass present similar phenological and productive behavior, whose maximum growth period occurs up to 120 days after cutting, with significant increases in biomass accumulation. The tillering rates reaches maximum levels at 30 days after cutting, suffering reductions and stabilization from 60 days after cutting. The ash content decreases at 60 days after cutting in the BRS Capiaçú and Pasto Panamá varieties and at 90 days after cutting in the Madeira variety. Cellulose levels increases and nitrogen levels decreases at 60 days after cutting, while lignin levels increases at 120 days after cutting in the Madeira and Pasto Panamá varieties and at 150 days after cutting in the BRS Capiaçú.

Palavras-chave: *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone, plant development, Forage Production, Northeast Coastal Tablelands.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Precipitação pluviométrica (mm) no período experimental.....	18
Tabela 2. Propriedades químicas do solo na área experimental.....	19
Tabela 3. Características físicas do solo da área experimental.....	19
Tabela 4. Valores estimados dos parâmetros do modelo logístico para altura da planta e seus respectivos coeficientes de determinação da regressão.....	23
Tabela 5. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para diâmetro do colmo (mm) e seus respectivos coeficientes de determinação da regressão.....	24
Tabela 6. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para índice de perfilhamento e seus coeficientes de determinação da regressão.....	25
Tabela 7. Valores estimados dos parâmetros do modelo PicoLog normal para índice de área foliar e seus coeficientes de determinação da regressão.....	26
Tabela 8. Valores estimados dos parâmetros do modelo logístico para a produção de biomassa seca (Mg ha^{-1}) e seus coeficientes de determinação da regressão.....	27
Tabela 9. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para teor de umidade (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.....	29
Tabela 10. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de carbono (%) (mm) e seus coeficientes de determinação da regressão.....	30
Tabela 11. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de nitrogênio.....	30
Tabela 12. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de lignina (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.....	31
Tabela 13. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de celulose (%) e seus coeficientes de determinação da regressão	33
Tabela 14. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de hemicelulose (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.....	34
Tabela 15. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para os teores de cinzas (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) durante o período experimental, em função da idade após o corte, determinada por Thornthwaite e Matter em Rio Largo/AL.....	23
Figura 2. Valores simulados para altura de planta em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo logístico.	25
Figura 3. Valores simulados para diâmetro do colmo em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.	26
Figura 4. Valores simulados para índice de em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.	27
Figura 5. Valores simulados para índice de área em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.	28
Figura 6. Valores simulados para produção de biomassa seca em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.	29
Figura 7. Valores simulados para umidade da biomassa em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.	29
Figura 8. Valores simulados para os teores de carbono em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.....	30
Figura 9. Valores simulados para os teores de nitrogênio em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.....	31
Figura 10. Valores simulados para os teores de lignina em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.	32
Figura 11. Valores simulados para os teores de em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.....	33
Figura 12. Valores simulados para os teores de em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.....	34
Figura 13. Valores observados para os teores de cinzas em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.....	35

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	
2.1. Objetivo Geral.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	
3.1. Capim-elefante.....	15
3.1.1. Origem e Classificação Botânica.....	15
3.1.2. Descrição Morfológica.....	15
3.1.3. Características Agronômicas.....	16
3.2. Climatologia da Zona da Mata do Estado de Alagoas.....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	
4.1. Localização e condições experimentais.....	19
4.2. Análises biométricas e da produção de biomassa.....	20
4.3. Qualidade energética da biomassa.....	21
4.4. Análise estatística.....	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
5.1. Balanço hídrico climatológico sequencial.....	23

5.2. Biometria e produção de biomassa.....	24
5.2.1 – Altura de planta.....	24
5.2.2 – Diâmetro do colmo.....	25
5.2.3 – Índice de perfilhamento.....	26
5.2.4 – Índice de área foliar.....	27
5.2.5 – Produção de biomassa seca.....	28
5.3. Qualidade energética da biomassa	
5.3.1 – Teor de umidade (%)	30
5.3.2 – Teores de carbono.....	31
5.3.3 – Teores de nitrogênio.....	31
5.3.4 – Teores de lignina.....	32
5.3.5 – Teores de celulose.....	34
5.3.6 – Teores de hemicelulose.....	35
5.3.7 – Teores de cinzas.....	36
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
7. CONCLUSÕES.....	38
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

1. INTRODUÇÃO

No último século, após a adoção do petróleo e carvão mineral como insumos energéticos, houve uma redução na utilização da biomassa como matéria-prima para a produção de energia. O uso excessivo desses insumos desencadeou um desequilíbrio das condições climáticas do planeta, devido à liberação em excesso dos gases causadores do efeito estufa (GEE), o qual tem potencializado o aumento da temperatura média global (MATSUOKA et al., 2014).

Diante deste cenário preocupante, pesquisas voltadas para a produção de fontes alternativas de energias renováveis têm sido avaliadas por muitos pesquisadores (JACKSON, 2005; DUVAL et al., 2013; MATSUOKA et al., 2014; OKUNO, 2016). A fonte eólica e a solar são intermitentes, sem controle de entradas e saídas de operação, sendo necessárias outras fontes de energia para assegurar a estabilidade do sistema em períodos de baixa produção. Desta forma, o uso da energia contida na biomassa vegetal surge como uma das principais alternativas para a produção de energia sustentável e com potencial para mitigar as emissões de GEE. O interesse na produção de energia através da biomassa ocorre devido a sua alta eficiência energética durante os ciclos de transformação, o qual aproveita ao máximo o seu potencial energético. Além disso, a fonte de biomassa pode ser cultivada em áreas agrícolas marginais, onde a produção de alimentos não é viável economicamente, de modo que não há uma competição por áreas agricultáveis (DUVAL et al., 2013).

As cadeias de suprimento de biomassa para produção de bioenergia envolvem elementos críticos que influenciam a viabilidade dos investimentos e devem ser organizadas e otimizadas de maneira a melhorar sua competitividade. A carência e a sazonalidade na oferta de fontes de matéria-prima para uso na produção de energia em unidades industriais é um dos fatores mais importantes, especialmente, em plantas para a geração de eletricidade ou produção de biocombustíveis, onde o estabelecimento de estratégias adequadas de suprimento de biomassa é fundamental para garantir a sustentabilidade e a viabilidade econômica do empreendimento (CHIAVENATO, 2014).

Com a atual perspectiva de esgotamento das reservas de fontes energéticas de origem fóssil, a utilização da biomassa como insumo alternativo vem ganhando importância no desenvolvimento de alternativas para uma matriz energética sustentável. São várias formas de energia que podem ser obtidas a partir da biomassa lignocelulósica. Seus principais usos são a produção de energia térmica (carvão vegetal, lenha, resíduos agroflorestais), energia mecânica (etanol e biodiesel) e energia elétrica (combustão direta, gaseificação, queima de gases) (LÉDO; MACHADO, 2014).

O potencial energético da biomassa no Estado de Alagoas está fortemente relacionado ao aproveitamento dos resíduos do setor sucroenergético, especialmente do bagaço-de-cana de açúcar, visto que a participação deste segmento na matriz de produção de energia primária do estado é preponderante. A utilização do bagaço de cana-de-açúcar para produção de energia elétrica e vapor de processo geram ganhos em excedentes elétricos, que impulsionam o aumento da demanda por esta e outras fontes de matéria-prima (MARAFON et al., 2016).

As gramíneas perenes, especialmente as do tipo C4 (cujos primeiros intermediários estáveis da fotossíntese são moléculas contendo 4 carbonos) são excelentes matérias-primas candidatas à produção de energia renovável por vários motivos, incluindo o alto potencial de produção de matéria seca, o rápido estabelecimento e o uso mais eficiente de insumos em comparação com culturas anuais (BYRT et al., 2011; BOEHMEL et al., 2008). Gramíneas forrageiras tropicais são tradicionalmente utilizadas para fins de alimentação animal, mas também podem ser consideradas alternativas sustentáveis para a produção de biomassa energética, visto que, por tratar-se de fontes renováveis, podem prevenir a extração de madeira em florestas nativas sendo capazes de atender propósitos energéticos tais como a produção de energia termelétrica (combustão direta, cogeração, gaseificação e queima de gases), de combustíveis líquidos (etanol celulósico) e sólidos (pellets, briquetes, carvão vegetal) e/ou de bioprodutos e metabólitos de interesse industrial (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Dentre as espécies tropicais perenes cultivadas para a produção de biomassa, merecem destaque a cana-energia (*Saccharum spp.*) e o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. sinônimo de *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone), o qual apresenta a maior capacidade de acumulação de matéria seca, por ser altamente eficiente na fixação de CO₂ atmosférico em razão da sua alta eficiência fotossintética (metabolismo C4) (SAMSON et al., 2015). A cana-energia teve seus cruzamentos realizados para aproveitar mais os descendentes da *Saccharum spontaneum* L., com alto teor de fibra, enquanto a cana-de-açúcar plantada em larga escala no Brasil é resultado de uma série de cruzamentos, mas que possuem a característica marcante da espécie *Saccharum officinarum* L., elevado teor de açúcar e baixa quantidade de fibra. A cana-energia, que tem a fibra como principal elemento, possui cerca de 30 % de fibra e 5 % de açúcar contra 12 % de fibra e 13 % de açúcar da cana-de-açúcar (TEW; COBILL, 2008).

Com amplificação na produção da cana-de-açúcar, houve a necessidade da busca por novas cultivares e espécies diferenciadas quanto ao conteúdo de fibras e açúcares. Desta maneira estão sendo conduzidos múltiplos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar, com intenção de obter cultivares que aumentem a produtividade de energia, na forma de etanol, fibra, entre outros (MARQUES et al., 2008). A cana-energia é um novo material que

surge como alternativa energética frente a cana-de-açúcar convencional, pois esta, apresenta um maior potencial na geração de energia e na produção de etanol de segunda geração. A “cana-energia” é uma planta que, inversamente à cana-de-açúcar tradicional, melhorada para produzir sacarose, é direcionada para produzir fibra, e que, além disso, por possuir maior participação de espécies ancestrais de maior rusticidade, estão aptas a suportar condições ambientais mais estressantes (VIOLANTE, 2012). A cana-energia exibe potencial para queima em caldeiras, junto a sua palha, alto poder calorífico, o que concebe assim um material entre outras rotas já desenvolvidas para produtos e subprodutos da cana-energia (SILVA, 2016).

O capim-elefante, por sua vez, se desenvolve e se estabelece rapidamente, sendo capaz de otimizar o uso da água do solo e da energia solar para produção de biomassa (SAMSON et al., 2005), proporcionando múltiplos cortes anuais e ampla adaptação edafoclimática e capacidade de fixação biológica de nitrogênio (ANDERSON et al., 2008; MORAIS et al., 2009; ZENG-HUI; HONG-BO, 2010).

Além do seu tradicional uso forrageiro, o capim-elefante tem sido apontado como alternativa sustentável de biomassa para uso como insumo energético, por possuir características qualitativas de interesse como a alta relação carbono/nitrogênio (C/N) e os elevados teores de fibras e lignina (ROCHA et al., 2017; ANDERSON et al., 2008; QUESADA et al., 2004). Entre as opções de uso, em escala industrial, pode-se citar a combustão direta da biomassa para cogeração de energia termelétrica (usinas sucroenergéticas); a produção de energia térmica (calor) para secagem de cerâmica estrutural (telhas, blocos); a produção de pellets e briquetes para uso como combustíveis sólidos na geração de energia térmica em fornos (pizzarias, restaurantes) e caldeiras industriais; a produção de carvão vegetal (carvão fino ou pó) e bio-óleo; a produção de etanol celulósico ou de segunda geração (2G) e a produção de biogás, biometano e biofertilizante.

A despeito dessas características, o uso do capim-elefante como fonte de bioenergia requer a seleção de material genético com atributos diferentes daqueles tradicionalmente contemplados exclusivamente para alimentação animal (LÉDO; MACHADO, 2013), dentre eles uma alta relação C/N e um elevado potencial de produção de biomassa para que a energia derivada desta fonte de matéria-prima apresente qualidade energética desejável e seja competitiva frente à outras fontes de biomassa e/ou de combustíveis fósseis (QUESADA, 2001; MORAIS et al., 2009).

As gramíneas forrageiras tropicais, além do elevado potencial de produção, possibilitam o uso da biomassa durante todo o ano. Contudo, em virtude da forte sazonalidade produtiva durante a estação seca, a frequência de corte se torna um aspecto decisivo e determinante na

longevidade da capineira. Neste sentido, o volume excessivo de produção da estação úmida pode ser conservado (silagem ou feno) para ser utilizado nas épocas de menor disponibilidade de biomassa. O uso integrado da biomassa da planta, ou seja, os ponteiros verdes para alimentação animal e os colmos fibrosos para a geração de energia, seja para combustão direta ou para outras aplicações como a produção de etanol ou de biogás, biometano e biofertilizante, é uma alternativa que pode aumentar a viabilidade econômica da exploração do capim-elefante como cultivo energético. As principais vantagens comparativas do capim-elefante para produção de bioenergia em relação às outras fontes de biomassa, como a cana-de-açúcar, por exemplo, são o maior potencial produtivo e o mais rápido ciclo de crescimento da cultura, possibilitando a execução de múltiplos cortes anuais (SAMSON et al., 2005; SILVA; RA et al., 2012).

O crescimento vegetal pode ser quantificado por meio de modelos matemáticos que permitem definir quantitativamente hipóteses assumidas sobre o sistema real, permitindo deduzir suas consequências na agricultura, tais como, o manejo de certos sistemas ou de certas condições ambientais e avaliar a contribuição de diferentes partes da planta em seu crescimento. A utilização de modelos de crescimento vegetal empíricos, semiempíricos e biológicos podem subsidiar diversas análises a partir de medidas biométricas, como altura de planta, matéria seca e índice de área foliar, em função da idade e fase fenológica da planta ou em função do tempo térmico (graus-dia acumulados). O modelo logístico destaca-se por apresentar melhor ajuste sob diferentes condições edafoclimáticas, culturas e práticas de cultivo em relação aos demais modelos. Os coeficientes dos modelos de crescimento apresentam, na sua maioria, significado biológico, o que permite inferir sobre alterações do ambiente, práticas agrícolas e épocas de plantio no crescimento e desenvolvimento das culturas (LYRA et al., 2014).

Tendo em vista a necessidade de definição de um cronograma de manejo agrônomo, onde a idade e a época de corte das plantas são alguns dos principais componentes que definem a longevidade da capineira, a produtividade da cultura e a qualidade da biomassa de acordo com a aplicação energética que se deseja dar à matéria-prima, os estudos sobre o desenvolvimento de variedades de capim-elefante nas condições edafoclimáticas de cada região de cultivo são imprescindíveis para que se possa obter o máximo rendimento e rentabilidade a partir do uso da biomassa desta gramínea.

2. OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produção e a qualidade da biomassa de variedades de capim-elefante [*Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone sinonímia de *Pennisetum purpureum* Schum.] cultivadas na região da Zona da mata do Estado de Alagoas, em oito diferentes épocas ou idades de corte, visando a máxima produção da biomassa com qualidade energética, com auxílio de modelos de crescimento semiempíricos.

2.2 – Objetivos específicos

- a) Caracterizar as curvas de crescimento de três variedades de capim-elefante, cultivadas nas condições edafoclimáticas da Zona da Mata de Alagoas, em diferentes idades de corte.
- b) Estimar os potenciais de produção de biomassa em idades durante o primeiro ciclo de rebrota de três variedades de capim-elefante em diferentes idades de corte.
- c) Determinar características de qualidade energética da biomassa de três variedades de capim-elefante em idades de corte.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Capim-elefante

3.1.1. Origem e Classificação Botânica

O capim-elefante cujo nome científico é *Pennisetum purpureum* Schum (homotípico de *Cenchrus purpureus* [Schumach.] Morrone) é uma das gramíneas mais importantes e difundidas em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo. É originária da África, com ocorrência natural em vários países, desde a Guiné, no Oeste, até Angola e Zimbábue, no Sul, e Moçambique e Kênia, no Leste africano, todos eles com regimes de pluviosidade superiores a 1000 mm ano⁻¹ (BRUNKEN, 1977). O primeiro relato sobre o valor nutritivo do capim elefante foi anterior a 1905, quando missionário húngaro em Barume, antigo Noroeste da Rodésia, enviou um material vegetativo desta espécie para o Zurich Botanical Gardens, na Suíça. Sua difusão pelos países com as mesmas características teve início com o Coronel Napier de Bulawayo, Zimbábue, após a sua recomendação para o Departamento de Agricultura da Rodésia como uma espécie de alto potencial para uso forrageiro. Atualmente, encontra-se presente em quase todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (GONÇALVES; MENEZES, 1982).

A espécie pertence à família Poaceae, subfamília Panicoideae do gênero *Pennisetum* L. Rich. da tribo *Paniaceae*, no qual se faz presente outros gêneros de grande importância forrageira. O capim-elefante é originário do clima tropical, situado entre a latitude 10°N e 20°S. A espécie compreende mais de 200 variedades e/ou ecotipos, dentre as principais cultivares introduzidas encontram-se: Napier, Cameroon, Roxo, Mercker, Anão, Vrukwona, Taiwan A-146, Taiwan A-144, Merkeron, Porto Rico, Cubano e híbridos triploides e hexaplóides (PEREIRA; LÉDO, 2008). Trata-se de uma espécie adaptada a ambientes com temperaturas do ar que varia entre 18 e 30°C, chegando a se desenvolver bem em altitudes de até 2.200 metros, com uma média de precipitação anual de 800 até 4.000 mm (QUESADA, 2004).

3.1.2. Descrição Morfológica

O capim-elefante é descrito por diversos autores (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1983; NASCIMENTO JUNIOR, 1981; DERESZ, 1999) como uma espécie perene, ereta, de hábito de crescimento cespitoso (forma touceiras), podendo atingir até 5 metros de altura. Trata-se de uma espécie com vários colmos por touceira (podendo elas serem abertas ou não), os quais apresentam diâmetro de cerca de 2 cm e entrenós de até 20 cm, preenchidos por um parênquima suculento (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1983; NASCIMENTO, 1981; DERESZ, 1999).

O sistema radicular do capim-elefante é considerado profundo e vigoroso (por vezes com desenvolvimento de rizomas). A espécie apresenta folhas lineares com diferentes tonalidades de verde, maciças ou não, glabras ou com pelos, cujas dimensões podem variar, tendo em média de 0,85 a 1,50 m de comprimento por 2 a 5 cm de largura. As bainhas podem alcançar em algumas variedades 30 cm ou mais de comprimento e em geral são pilosas, com pelos caducos ou não (ALCÂNTARA et al., 1980).

O capim-elefante tem sua inflorescência uma panícula primária e terminal, com ráculos em forma de espiga cilíndrica (solitária ou em conjunto no mesmo colmo), podendo alcançar em média, 15 cm de comprimento, apresentando espiguetas solitárias ou agrupadas e envolvidas por um tufo de cerdas com tamanhos desiguais de coloração amarelada ou purpúrea (ALCÂNTARA; BUFARAH, 1983). As espiguetas do capim-elefante são consideradas bifloras sendo duas glumas herbáceas de tamanho inferior que o da espiguetas, o seu comprimento varia de 5 a 7 mm. O fruto é do tipo cariopse, formado por fecundação cruzada obrigatória (ALCÂNTARA et al., 1980).

De acordo com Hanna et al. (2004), o capim-elefante é a gramínea com maior potencial de produção de biomassa por unidade de tempo, pois apresenta ciclo de crescimento curto (entre 5 e 7 meses), com rápida expansão da área foliar nos primeiros meses após o plantio ou corte. As plantas podem atingir mais de 6 metros de altura e crescem melhor em locais com precipitação superior aos 1000 mm anuais e temperaturas de 30 a 35°C (FERRARIS, 1978). Esse alto potencial de produção de biomassa resulta da combinação de diversos fatores, tais como: eficiência na interceptação da luz solar, eficiência fotossintética, capacidade de rebrotar e perfilhar, armazenamento de carboidratos de reserva, absorção de nutrientes e eficiência no uso da água (DUBEUX JUNIOR; MELLO, 2010).

O capim-elefante é uma espécie gramínea semiperene de ciclo curto (4 a 6 meses), compreende mais de 200 variedades e/ ou ecotipos. Por este motivo, ensaios de desempenho produtivo para identificar genótipos mais adaptados às diferentes condições edafoclimáticas prevalentes em cada região são de grande importância na adoção de cultivares (FREITAS et al., 2010; ZANETTI, 2010).

3.1.3. Características Agronômicas

O capim-elefante é uma espécie que se adapta bem as condições tropicais no qual está inserido. Para alcançar o seu máximo desempenho é necessária uma temperatura do ar que varie entre 25° e 40° podendo a mínima atingir até os 15° (SKERMAN; RIVEROS, 1992 apud DALLAGNOL, 2004).

O ciclo de cultivo do capim-elefante está compreendido entre 4 e 6 meses, onde a duração de cada fase depende, essencialmente, das épocas de plantio ou corte e das condições edafoclimáticas regionais. Na curva de crescimento do capim-elefante podemos distinguir três fases fenológicas principais: (1) fase de crescimento inicial, cujo processo é lento e envolve a brotação das gemas das mudas (dos toletes utilizados no plantio ou da rebrota de socarias), que depende fundamentalmente das substâncias de reservas contidas dos propágulos vegetativos e da umidade do solo; (2) fase linear de rápido de crescimento exponencial, a qual está compreendida entre 30 até 120 dias após o corte, a depender da região e das condições para absorção de água e nutrientes pelas raízes. Nesta fase, a produção de folhas se torna estável, já que o aparecimento folhas novas sincroniza-se com a senescência de folhas velhas. A partir deste período a planta passa a alocar seus recursos para o crescimento dos colmos e surge a (3) fase de senescência foliar, havendo diminuição no índice de área foliar e menor interceptação da energia luminosa, com decréscimo no acúmulo de matéria seca pela translocação de fotoassimilados para os órgãos de reservas. Nesta fase o acúmulo de biomassa é praticamente nulo pois ocorre a paralisação do crescimento, havendo manutenção das atividades fisiológicas essenciais e direcionamento dos fotoassimilados para as raízes (LIRA et al., 2010).

Com base no que foi observado por Alcântara et al. (1980), pode-se destacar outras características agronômicas relacionadas as suas adaptações e tolerâncias, como por exemplo:

- a) **Altitude:** Seu cultivo é realizado a partir do nível do mar podendo atingir 2200 metros, sendo seus melhores resultados de produção em altitudes de até 1500 metros;
- b) **Fertilidade:** É bastante exigente quanto na composição de nutrientes do solo, apresentando pouca tolerância a solos com baixo pH e alto teor de alumínio;
- c) **Topografia:** Pode ser cultivada em terrenos com declives, desde que se tenha um controle de erosão do solo.
- d) **Solo:** Se adapta bem a diferentes tipos de solo com exceção daqueles solos mal drenados.
- e) **Precipitação:** De 800 a 4000 mm. Vegeta bem em regiões quentes e úmidas com precipitação anual de mais 1000 mm. Possui baixa tolerância à seca, podendo atravessar períodos de seca com uma baixa produção 20-30% do período chuvoso (PEDREIRA; MATTOS, 1982).
- f) **Radiação:** Se caracteriza por apresentar uma alta eficiência fotossintética.
- g) **Produção:** Possui relatos de produção de até 300 toneladas de matéria verde por hectare, considerando mais de um corte ao ano. Quando falamos a nível de produção nacional, temos uma média bem inferior.

h) Propagação: Realizada pela via vegetativa, utilizando-se mudas provenientes de colmos. O uso de sementes é considerado pouco viável, mas é possível.

3.2. Climatologia da Zona da Mata do Estado de Alagoas

O estado de Alagoas, em função da sua localização na região Nordeste, tem como principais características climáticas as irregularidades da precipitação pluviométrica e a pouca variação sazonal da radiação solar, do fotoperíodo e da temperatura do ar. Os índices de precipitação são marcados por grande variabilidade anual acompanhada de instabilidade de chuvas, na qual, o Estado se divide em três mesorregiões: (1) Zona da Mata, (2) Agreste e (3) Sertão. De acordo com a classificação de Köppen, a Zona da Mata e as áreas litorâneas do estado de Alagoas apresentam clima do tipo As', ou seja, tropical e quente, com um regime de chuvas acentuado, onde predominam cotas pluviométricas de 1.300 a 1.600 mm, no período de outono/inverno. No estado de Alagoas está diretamente relacionado com as configurações da circulação atmosférica e oceânica em grande escala sobre os trópicos, dentre os quais se destacam a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); os Sistemas Frontais (SF), alimentados pela umidade do Atlântico Sul e que definem a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as ondas de Leste, que são agrupamentos de nuvens que se movem no Atlântico, de leste para oeste e, dos Ventos Alísios de Nordeste e Sudeste (BARROS, 2012).

A proximidade da linha do Equador é um fator que condiciona um número elevado de horas de sol por ano e índices acentuados de evapotranspiração, em função da incidência perpendicular dos raios solares na superfície do solo. Por isso, o total médio de evapotranspiração potencial estimado do Litoral ao Sertão varia entre 1.000 mm ano⁻¹ e 1.600 mm ano⁻¹, respectivamente. Em todo o Estado são pequenas as oscilações da temperatura média do ar, variando, no Litoral, entre 23°C e 28°C, e no Sertão, entre 17°C e 33°C. Porém, parte do Leste Alagoano, próximo à divisa com o estado de Pernambuco, possui clima Ams', tropical com chuvas de outono a inverno e médias pluviométricas anuais entre 1.500 mm à 2.200 mm. Por outro lado, a metade ocidental do Estado, que corresponde ao Agreste e Sertão, apresenta condições semiáridas, com clima BSh, isto é, seco e quente, com precipitação pluviométrica média anual no Sertão entre 400 m (BARROS et al., 2012).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e condições experimentais

Foi conduzido um experimento com três variedades de capim-elefante entre os meses de abril de 2019 e fevereiro de 2020 em área pertencente ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL), situado no município de Rio Largo, estado de Alagoas, cujas coordenadas geográficas são Latitude 09° 28' 29,1'', Longitude 35° 49' 43,6'' e altitude de 130 m. O clima da região, pela classificação climática de Köppen, é do tipo "As", ou seja, tropical e quente, com regime de chuvas acentuado, onde predominam cotas pluviométricas de 1.300 a 1.600 mm anuais, de maneira mais acentuada no período de outono/inverno e com verão seco (BARROS et al., 2012).

Os dados mensais de precipitação pluvial foram coletados e cedidos pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA/CECA/UFAL), que dispõe de uma estação agrometeorológica automática, instalada à cerca de 300 metros do experimento. O cálculo do armazenamento de água no solo (ARM, mm) foi monitorado utilizando-se o balanço hídrico sequencial (BH) do solo sugerido por Thornthwaite e Matter, descrito por Pereira et al. (1997), sendo que, a estimativa da capacidade de água disponível (CAD) do solo foi em 60 mm.

O solo foi classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2006) como um Latossolo Amarelo Coeso Argissólico. Trata-se de um solo pobre em nutrientes, caracterizado por sua textura média nos horizontes superiores, de teores elevados de bases na superfície e pela textura argilosa em maiores profundidades (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades químicas do solo na área experimental. Rio Largo/AL, 2022.

Camada do perfil	Nutrientes minerais				Atributos químicos			
	Potássio	Fósforo	Cálcio	Magnésio	pH	T	V	MO
	mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³		%			
0 – 20	36	4	1,8	1,6	6,8	5,96	59,7	2,65
20 – 40	36	4	1,1	1,1	5,9	4,46	52,9	2,25

*T= capacidade de troca de cátions (pH 7); pH = potencial hidrogeniônico; V= saturação por bases e MO= matéria orgânica.

Com base na análise química do solo foi efetuada a correção da fertilidade mediante a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de NPK da formulação 08-22-20. Quanto às suas características físicas, o solo da área experimental apresentou-se com uma textura areno-argilosa (Tabela 3).

Tabela 3. Características físicas do solo da área experimental. Rio Largo/AL, 2022.

Camada do perfil (cm)	Atributos físicos				
	Areia (0,05 – 2 mm)	Silte (0,002 -0,05 mm)	Argila (≤ 0,002 mm)	Relação Silte/Argila	Densidade do solo (Kg dm ⁻³)
0 – 20	62,5 %	6 %	31,5 %	0,24	1,42
20 – 40	57 %	6 %	37 %	0,16	1,60

*T= capacidade de troca de cátions (pH 7); pH = potencial hidrogeniônico; V= saturação por bases e MO= matéria orgânica.

O experimento foi implantado em abril de 2019 a partir do corte e da avaliação das rebrotas de três variedades de capim-elefante. O experimento foi conduzido em blocos ao caso com três repetições, sendo avaliadas três variedades (BRS Capiapu, Pasto Panamá (BAGCE 91) e Madeira (BAGCE 145) e oito diferentes idades de corte: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 240 e 300 dias após o corte (DAC). As parcelas foram constituídas por 10 linhas de 10 metros espaçadas em 1 metro, com três repetições. As linhas centrais foram utilizadas para avaliação das características de desenvolvimento das variedades durante o primeiro ciclo de rebrota. As variedades de capim-elefante utilizadas são pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma de Capim-elefante da Embrapa Gado de Leite.

4.2. Análises biométricas e da produção de biomassa

Por apresentar ciclo curto e uma curva de crescimento da parte aérea muito acelerada, especialmente nos primeiros ciclos de rebrota das socarias, foram programadas e executadas avaliações de crescimento e produção de biomassa com frequência mensal, sendo analisadas as seguintes variáveis biométricas: índice de área foliar (IAF), altura do dossel (m), diâmetro médio do colmo (mm) e número de perfilhos por metro (perfilhos m^{-1}). A altura média do dossel vegetativo das plantas foi determinada a partir da avaliação de dez plantas, com auxílio de uma trena. diâmetro dos colmos foi determinado com um paquímetro digital. O IAF foi determinado após a retirada de todas as folhas verdes das plantas de um metro quadrado, as quais foram utilizadas para a determinação de área foliar em um medidor de área foliar de bancada modelo AM 3000 (Licor[®]), cujo resultado foi expresso em metros quadrados de área foliar por metro quadrado de superfície do solo ($m^2 m^{-2}$). Para determinação da produção de biomassa seca da parte aérea, em megagramas por hectare ($Mg ha^{-1}$) foram colhidos 3 metros dentro da linha de cultivo ($3 m^2$) de cada variedade, cujo material foi suspenso e pesado com dinamômetro portátil, na própria área de cultivo. Para a determinação da umidade, o material foi seco em estufa ($105^\circ C$) durante 48 horas. Para a determinação da composição química elementar (Carbono e Nitrogênio) e dos teores de fibras (celulose e hemiceluloses), lignina e de cinzas, o material foi triturado em moinho tipo Willey ($500 \mu m$).

4.3. Qualidade energética da biomassa

Os teores de celulose (CEL), hemicelulose (HCEL) e lignina (LIG) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Goering; VanSoest (1967), descrita por Silva (2006). Os teores de cinzas foram determinados de acordo com a norma NBR 8112 (ABNT, 1986), utilizando-se 1g de amostra isenta de umidade, incinerada em forno mufla ($600^\circ C$), resfriada

em dessecador e posteriormente pesada em balança de precisão analítica. Os teores de carbono e nitrogênio foram determinados em analisador elementar modelo CHNS Flash 2000 (Thermo Scientific™). Os resultados foram expressos em percentagem de matéria seca (% MS).

4.4. Análise estatística

Os ajustes dos modelos de crescimento e polinomial foram avaliados por meio do coeficiente de determinação (R^2). Foram efetuados ajustes dos modelos logísticos, submetendo-se os coeficientes aos testes t e r^2 .

Para caracterização da altura de planta (m) e da produção de biomassa seca (Mg), os dados obtidos foram ajustados ao modelo Logístico descrito por Lyra et al. (2014) para culturas agrícolas, conforme a equação 1:

$$f = w_f / [1 + ((w_f/w_0) - 1) * \exp(-r * X)] \quad (1)$$

Em que: w (em metros ou megagramas) é a variável de crescimento; X (idade do corte); w_0 e w_f (em metros ou megagramas) correspondem, respectivamente, ao crescimento inicial e final do ciclo da cultura e r (em metros ou megagramas por dia) é a taxa máxima de crescimento relativo, com base na idade de corte das plantas.

Para estimar os valores de IAF foi utilizado o modelo PicoLog normal, o qual foi ajustado em função dos dias após o corte, conforme a equação 2:

$$f = a * \exp(-0,5 * [\ln(x/x_0) / b]^2) \quad (2)$$

Em que: a é o valor de IAF máximo; b é o grau de decaimento do IAF mínimo; x_0 é o valor dos dias após o corte no qual o IAF é máximo e x refere-se aos dias após o corte.

A porcentagem indica sub ou sub ou superestima os dados observados e simulados (TOJO SOLER, 2004). Essa porcentagem é dada pela equação 3:

$$PE = [(S_i - O_i) / O_i] * 100 \quad (3)$$

Em que: PE é a porcentagem de desvio; S_i : valor estimado pelo modelo e O_i : valor observado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Balanço hídrico climatológico sequencial

A precipitação pluviométrica registrada na área durante o período experimental demonstrou considerável variação nos volumes registrados mensalmente (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação pluviométrica (mm) no período experimental. Rio Largo/AL, 2022.

Precipitação pluviométrica	abr/19	mai/19	jun/19	jul/19	ago/19	set-out/10	nov-dez/19	jan-fev/20
Mensal	115,1	295,9	127,5	323,9	92,7	26,2	34,8	65,3
Acumulada	115,1	411,4	538,9	862,8	955,5	981,7	1016	1081

Fonte: Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia. LIA/CECA/UFAL.

Nas condições edafoclimáticas do experimento, o balanço hídrico da cultura apontou duas épocas distintas em relação à disponibilidade de água no solo, uma de excesso hídrico, compreendida entre os meses de maio e agosto e, outra época, marcada pelo déficit hídrico, a qual situou-se entre os meses de setembro e fevereiro (Figura 1).

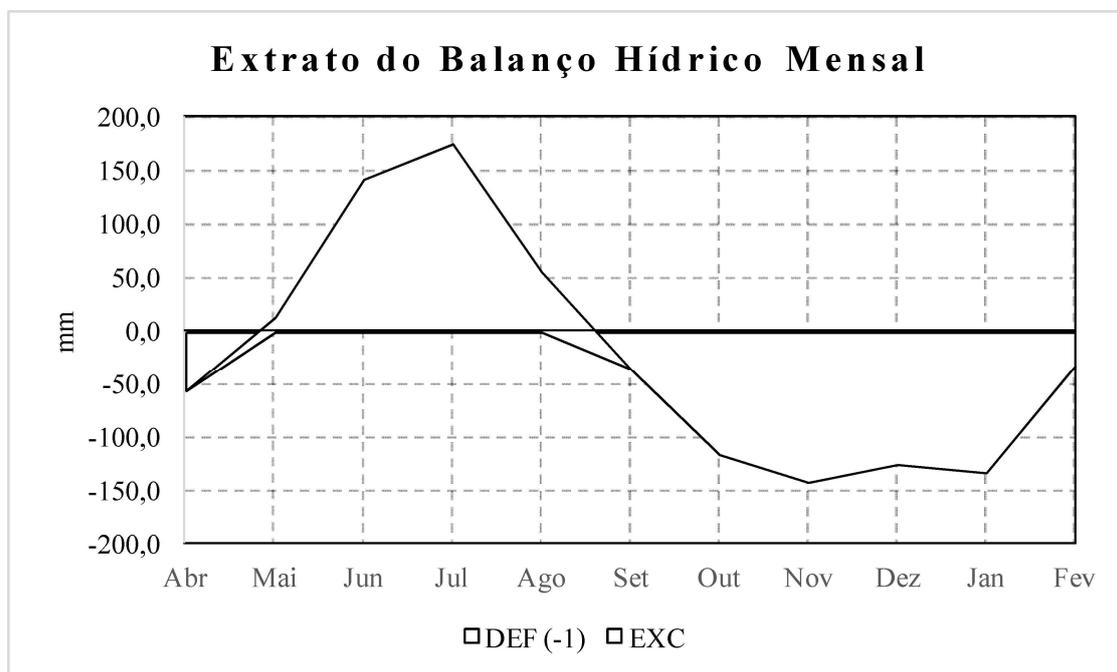


Figura 1. Variação do armazenamento de água no solo (ARM, mm) durante o período experimental, em função da idade após o corte, determinada por Thornthwaite e Matter em Rio Largo/AL. DEF (-1) = déficit hídrico. EXC = excesso hídrico.

Durante o período experimental, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 1.081 mm, valor dentro da faixa ideal para a cultura do capim-elefante, cuja espécie é adaptada à

ambientes com precipitação pluviométrica anual de 800 até 4.000 mm e temperaturas do ar que variam entre 18 e 30°C (QUESADA, 2004). A falta de uniformidade na distribuição da precipitação pluvial no decorrer do ano resulta em menor armazenamento de água no solo durante o período seco, favorecendo reduções na evapotranspiração real, no crescimento e na produtividade da cultura. Desta forma, o uso de irrigação passa a ser imprescindível nesta região. Para que as plantas atinjam o máximo potencial de evapotranspiração é necessário que o teor de umidade do solo esteja igual ou próximo da capacidade de armazenamento de água disponível (DANTAS NETO et al., 2006; TEODORO et al., 2009).

Para a adequada suplementação hídrica com o emprego da irrigação torna-se necessário a quantificação da demanda hídrica da cultura, nos seus diferentes estádios de desenvolvimento. Neste aspecto, a análise de crescimento é uma forma acessível e precisa, que possibilita a avaliação e mensuração do desenvolvimento morfofisiológico das plantas, acompanhando seu crescimento ao longo de todo o ciclo (ANDRADE JUNIOR et al., 2017).

5.2. Biometria e produção de biomassa

Os modelos logísticos apresentaram ajustes estatísticos significativos ($p \leq 0,05$) para a produção de biomassa das três variedades de capim-elefante para a maior parte das variáveis de crescimento avaliadas. Os modelos utilizados conseguiram explicar a variabilidade dos dados para as variáveis altura de planta (m), índice de perfilhamento (%), índice de área foliar (IAF) e produção de biomassa seca ($Mg\ ha^{-1}$), entretanto, não foram capazes de explicar a variabilidade dos dados para a variável diâmetro do colmo (mm).

5.2.1 – Altura de planta

Os coeficientes do modelo ajustados (w_f , w_0 e r) foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p < 0,01$) para a altura de planta (Tabela 4).

Tabela 4. Valores estimados dos parâmetros do modelo logístico para altura da planta e seus respectivos coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiçu	Madeira	Pasto Panamá
w_f	3,2162 ** ($\pm 0,1120$)	3,2950 ** ($\pm 0,1141$)	3,3290 ** ($\pm 0,1550$)
w_0	0,2199 ns ($\pm 0,0925$)	0,1764 ns ($\pm 0,0733$)	0,2948 ns ($\pm 0,1454$)
r	0,0358 ** ($\pm 0,0061$)	0,0346 ** ($\pm 0,0053$)	0,0331 ** ($\pm 0,0074$)
R^2	0,9854	0,9907	0,9796

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

Com base nos dados registrados e nos dados estimados pelo modelo logístico podemos observar que, o modelo subestimou a altura final das plantas em 1,34% para a BRS Capiçu, em 2,51% para a variedade Madeira e em 5,16% para a variedade Pasto Panamá. O rápido

crescimento da espécie pode ser constatado a partir dos dados de altura da planta, a qual aumentou de forma linear até os 150 DAC para a BRS Capiaçú e até os 120 DAC para as variedades Madeira e Pasto Panamá, quando houve estabilização desta variável (Figura 2).

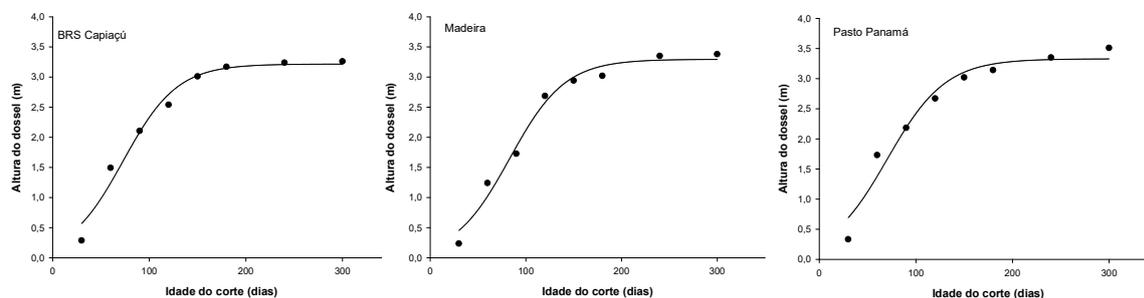


Figura 2. Valores simulados para altura de planta em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo logístico.

O capim-elefante é uma espécie perene, ereta e com vários colmos por touceira, podendo superar 5 metros de altura (DERESZ, 1999). Oliveira et al. (2015), ao avaliarem seis genótipos de capim-elefante, relataram resultados semelhantes aos do presente trabalho, constatando uma altura média de plantas de 3,54 m.

Quando a variável de altura de planta das três variedades é relacionada ao balanço hídrico, mostra uma interação significativa, tendo em vista que o déficit ocorreu aos 150 dias, período que ocorre a estabilização do crescimento das plantas.

5.2.2 – Diâmetro do colmo

Os coeficientes ajustados não foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para o diâmetro do colmo (Tabela 5).

Tabela 5. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para diâmetro do colmo (mm) e seus respectivos coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	12,0343 ** ($\pm 1,0027$)	11,2270 ** ($\pm 1,7211$)	9,5743** ($\pm 1,9284$)
a	0,0086 ns ($\pm 0,0143$)	0,0173 ns ($\pm 0,0245$)	0,04519 ns ($\pm 0,0275$)
b	0 ns (± 0)	0 ns (± 0)	-0,0001 ns (± 0)
R ²	0,1706	0,1469	0,3871

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

O diâmetro dos colmos das variedades de capim-elefante apresentou valores máximos aos 60 DAC, a partir de quando houve estabilização desta variável de crescimento (Figura 3).

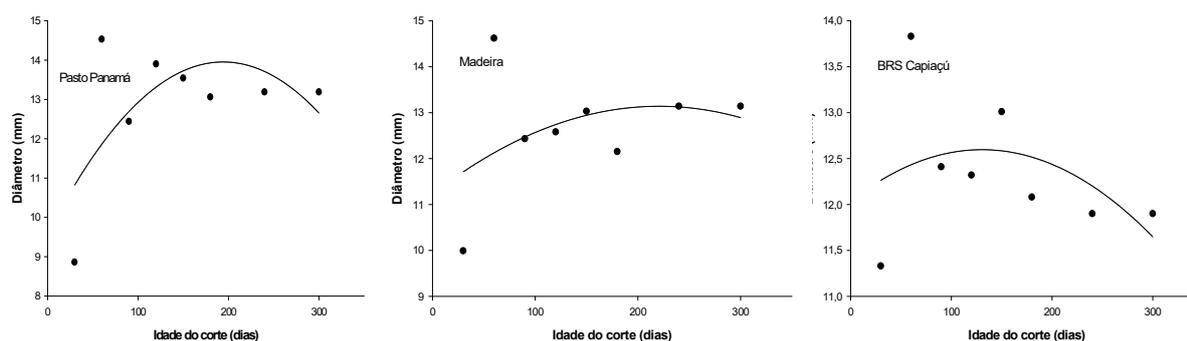


Figura 3. Valores simulados para diâmetro do colmo em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

O capim-elefante é uma espécie com vários colmos por touceira, podendo elas serem abertas ou não, cujos colmos são preenchidos por um parênquima succulento, apresentando diâmetros próximos de 2 cm e entrenós de até 20 cm (DERESZ, 1999).

5.2.3 – Índice de perfilhamento

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para o índice de perfilhamento (Tabela 6)

Tabela 6. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão do segundo grau para índice de perfilhamento e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	30,8017 **($\pm 1,7377$)	32,1565 **($\pm 3,3863$)	28,6571 **($\pm 3,1559$)
A	-0,0199 **($\pm 0,0045$)	-0,1921 * ($\pm 0,0483$)	-0,1486 * ($\pm 0,0450$)
B	0,0003 **(± 0)	0,0004 * ($\pm 0,0001$)	0,0003 * ($\pm 0,0001$)
R ²	0,9707	0,9122	0,8798

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

De acordo com os resultados, os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) para a variável índice de perfilhamento. Os índices de perfilhamento das três variedades de capim-elefante atingiram valores máximos aos 30 DAC, cuja média geral é de 28,8 perfilhos m^{-1} . A partir dos 60 DAC ocorreram reduções significativas, havendo estabilização no número de perfilhos por metro linear (Figura 4).

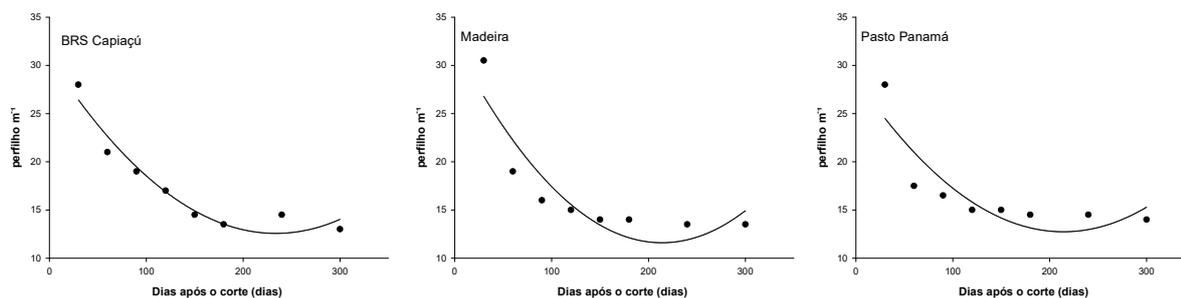


Figura 4. Valores simulados para índice de em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

A seleção de genótipos de capim-elefante com alto número de perfilhos e alta produção de biomassa são aspectos cruciais para o sucesso da adoção deste sistema produtivo que visa utilizar a biomassa como insumo energético (RENGSIRIKUL et al., 2011).

O índice de perfilhamento mostrou uma relação com a deficiência hídrica, haja vista, que a estabilização da diminuição do índice ocorre aos 150 dias. Outro fator que também interfere nessa diminuição é o crescimento das plantas, gerando competição entre os perfilhos.

5.2.4 – Índice de área foliar

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para o índice de área foliar (Tabela 7).

Tabela 7. Valores estimados dos parâmetros do modelo PicoLog normal para índice de área foliar e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	4,5258 ** ($\pm 0,6761$)	6,4571 ** ($\pm 0,6246$)	4,4634 ** ($\pm 1,0082$)
a	6,3922 ** ($\pm 2,7497$)	6,3365 ** ($\pm 1,4414$)	4,9489 ** ($\pm 1,0851$)
b	0,4143 ** ($\pm 0,0392$)	0,1755 ** ($\pm 0,0421$)	0,4600 ** ($\pm 0,1589$)
R ²	0,9298	0,8357	0,8499

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

De acordo com os resultados obtidos, os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) para o índice de área foliar. Os valores de IAF das variedades BRS Capiaçú e Pasto Panamá apresentaram aumento acentuado aos 60 DAC, enquanto na variedade Madeira este incremento ocorreu somente aos 120 DAC, quando a variedade alcançou seu IAF máximo. As variedades BRS Capiaçú e Madeira apresentaram reduções no IAF aos 150 DAC, enquanto a variedade Pasto Panamá manteve seu IAF elevado por mais tempo, cuja redução só ocorreu aos 180 DAC (Figura 5).

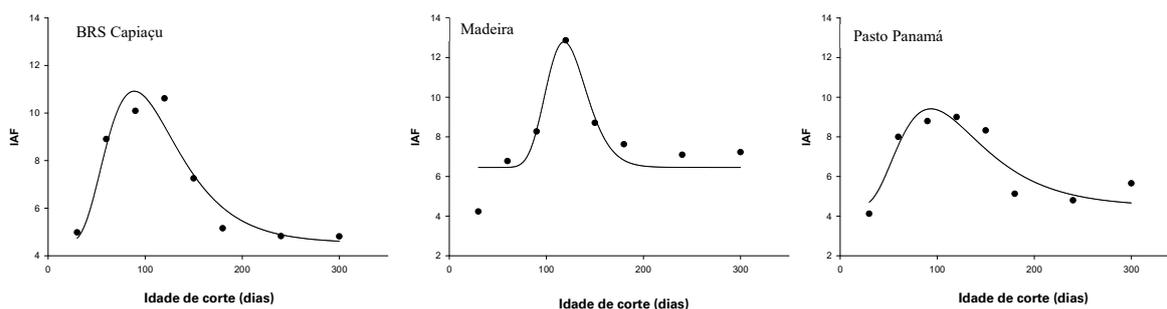


Figura 5. Valores simulados para índice de área em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

Após a colheita da biomassa, as gramíneas perenes tropicas voltaram a crescer rapidamente, em um novo ciclo de rebrota, alcançando um elevado IAF com rápido fechamento do dossel vegetativo. Portanto, quanto maior a frequência maior a remoção de nutrientes. Por isso, colheitas tardias, com material em fases mais avançadas do ciclo de cultivo (6 a 8 meses) podem reduzir a extração de nutrientes como N e K, o que melhora a qualidade da biomassa para combustão (LEWANDOWSKI et al., 2003).

O índice de área foliar teve uma queda abrupta aos 150 dias após o corte, período em que se estabeleceu o déficit de água no solo, cujo fator pode justificar essa redução, visto tratar-se de plantas que, além do mecanismo de fechamento estomático, apresenta outros mecanismos morfológicos de resposta para diminuir a transpiração, tal como o enrolamento das folhas.

5.2.5 – Produção de biomassa seca

Os coeficientes do modelo ajustados (w_f , w_0 e r) foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p < 0,01$) para a produção de biomassa seca (Tabela 8).

Tabela 8. Valores estimados dos parâmetros do modelo logístico para a produção de biomassa seca ($Mg\ ha^{-1}$) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiapu	Madeira	Pasto Panamá
w_f	25,675 ** ($\pm 0,7379$)	33,6016 ** ($\pm 1,0464$)	28,6681 ** ($\pm 1,1300$)
w_0	2,0512 * ($\pm 0,6025$)	1,7130 * ($\pm 0,4888$)	1,7538 * ($\pm 0,6839$)
r	0,0318 ** ($\pm 0,0041$)	0,0277 ** ($\pm 0,0030$)	0,0301 ** ($\pm 0,0046$)
R^2	0,9854	0,9907	0,9796

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

Com base nos dados registrados e nos dados estimados pelo modelo logístico podemos observar que, o modelo subestimou a produção de biomassa seca em 0,21% para a BRS Capiapu

e em 3,12% para a variedade Madeira. Já para a variedade Pasto Panamá, o modelo logístico superestimou a produção de biomassa seca em 3,24%.

Os incrementos na acumulação de biomassa seca da parte aérea das três variedades de capim-elefante foram significativos até os 120 DAC, apresentando estabilização a partir dos 150 DAC para as variedades Madeira e Pasto Panamá. Por outro lado, a cultivar BRS Capiuaçu apresentou um segundo incremento no acúmulo de biomassa seca da parte aérea aos 240 DAC em virtude da grande emissão de novos perfilhos basais, com predomínio de folhas verdes (Figura 6).

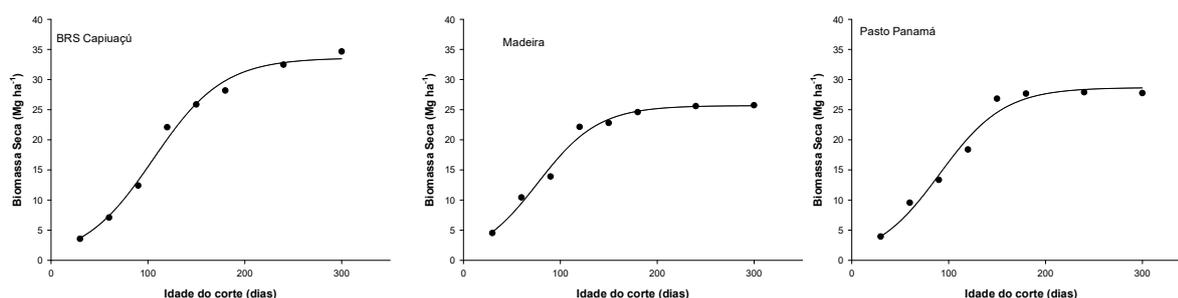


Figura 6. Valores simulados para produção de biomassa seca em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

O aumento do intervalo de corte, ou seja, a realização de cortes mais frequentes resulta em ganhos na produtividade de matéria seca, sendo o corte a 10 meses o mais eficiente, resultando em maior produtividade de biomassa energética (VIDAL et al., 2022).

Após o corte, as rebrotas passam a utilizar as reservas contidas nos seus órgãos subterrâneos raízes, o que que tem dura até 30 dias, dependendo das condições de clima e solo. A partir desta fase já a planta passa a alocar recursos para um novo ciclo de desenvolvimento do sistema radicular, a partir da estabilização no número de perfilhos e da expansão foliar, o que aumenta o índice de área foliar e promove a assimilação do carbono atmosférico e o aporte de água e nutrientes para a planta, a qual passa a expressar seu máximo potencial de acúmulo de biomassa (MARAFON et al., 2019). A frequência e a época de corte são, provavelmente, as práticas de manejo mais importantes em sistemas de produção de biomassa de gramíneas forrageiras, afetando o rendimento e a qualidade da biomassa (WOODARD; PRINE, 1991). A possibilidade de execução de múltiplos cortes anuais e da realização da colheita tardia das plantas [KNOLL et al., 2013) é uma característica que favorece o planejamento agrícola visando garantir o suprimento contínuo de biomassa à unidade industrial. Múltiplos cortes anuais podem reduzir a persistência das rebrotas e aumentar a extração de nutrientes nas gramíneas perenes (NA et al., 2015).

Em cultivo do capim-elefante ‘King Krass’, no México, Rueda et al. (2016) obtiveram produção anual média de biomassa seca de 31,7 Mg ha⁻¹. Marafon et al. (2019) observaram o alto potencial de produção de biomassa em genótipos de capim-elefante na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas, com produções anuais de biomassa seca superiores aos 40 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, apontando esta espécie como uma excelente alternativa de matéria-prima para uso energético. Em regiões de baixas latitudes, como o Estado da Flórida, na região da Sudeste dos Estados Unidos, os rendimentos anuais de biomassa seca de variedades de capim-elefante foram de 30 a 50 Mg ha⁻¹ (FEDENKO et al., 2013). Sumiyoshi et al. (2017) também registraram produções de biomassa seca de variedades de capim-elefante de 40 e 53 Mg ha⁻¹.

A biomassa das três variedades sinalizou uma estabilização após os 150 dias, período que ocorre o déficit hídrico, de acordo com o extrato do balanço hídrico, o que demonstra uma sensibilidade da produção de biomassa quando está em período de déficit hídrico.

5.3. Qualidade energética da biomassa

Os modelos logísticos apresentaram ajustes estatísticos significativos ($p \leq 0,05$) para a qualidade da biomassa nas três variedades de capim-elefante para a maior parte das variáveis avaliadas. Os modelos utilizados conseguiram explicar a maior parte da variabilidade para os teores de umidade, carbono, nitrogênio, lignina, celulose e cinzas (%), entretanto, não explicaram a maior parte da variabilidade para o teor de hemicelulose (%).

5.3.1 – Teor de umidade (%)

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para o teor de umidade (Tabela 9).

Tabela 9. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para teor de umidade (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiáçu	Madeira	Pasto Panamá
Y0	93,3499 **($\pm 6,1404$)	90,0867 **($\pm 4,7165$)	90,8131 **($\pm 3,4521$)
a	-0,2860 *($\pm 0,0876$)	-0,2081 *($\pm 0,0673$)	-0,1871 *($\pm 0,0492$)
b	0,0006 ns ($\pm 0,0003$)	0,0003 ns ($\pm 0,0002$)	0,0004 ns ($\pm 0,0001$)
R ²	0,7907	0,8841	0,8802

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

Os teores de umidade da biomassa das variedades de capim-elefante apresentaram valores máximos aos 60 DAC em função da maior proporção de folhas em relação aos colmos, com gradativas reduções no teor de umidade da biomassa até os 240 DAC em virtude da baixa incidência de chuvas e da maior proporção de colmos em relação às folhas verdes (Figura 7).

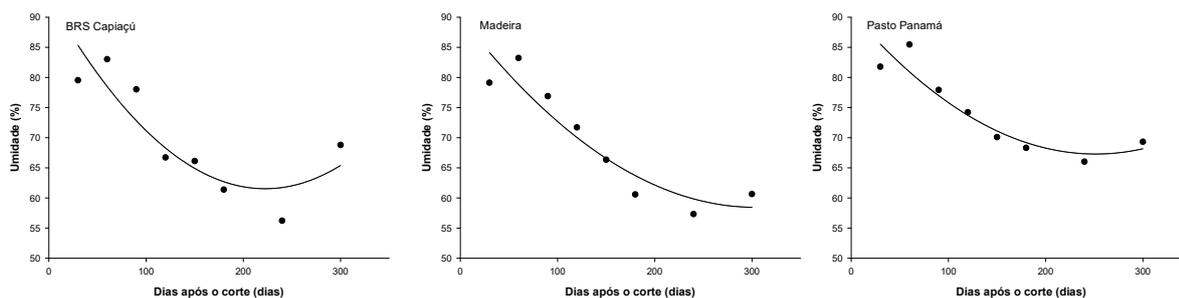


Figura 7. Valores simulados para umidade da biomassa em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

5.3.2 – Teores de carbono

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para os teores de carbono (Tabela 10).

Tabela 10. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de carbono (%) (mm) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	36,5501 **($\pm 2,014$)	36,9620 **($\pm 1,667$)	37,9091 **($\pm 2,4176$)
A	0,0707 * ($\pm 0,0287$)	0,0745* ($\pm 0,0238$)	0,0674 ns ($\pm 0,0345$)
B	-0,0001 ns (± 0)	-0,0002 ns (± 0)	-0,0002 ns ($\pm 0,0001$)
R ²	0,7334	0,7403	0,5405

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

Os teores de carbono na biomassa das três variedades de capim-elefante apresentaram acentuados aumentos aos 60 DAC, a partir de quando houve estabilização (Figura 8).

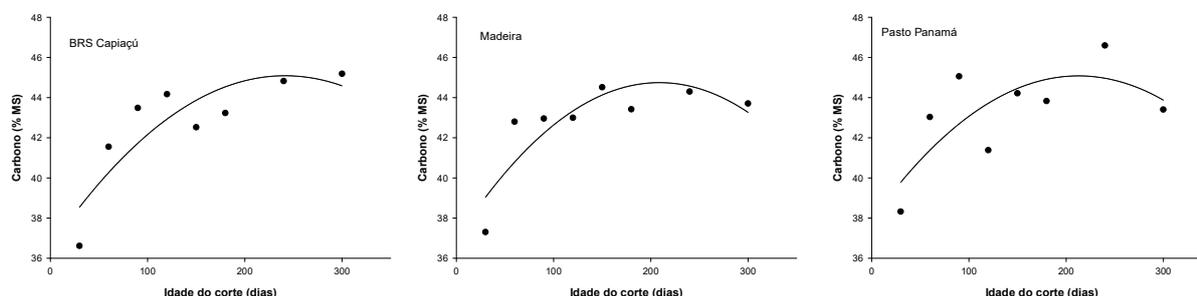


Figura 8. Valores simulados para os teores de carbono em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

A biomassa do capim-elefante é composta principalmente por fibras e lignina, contendo aproximadamente 46% de celulose, 34% de hemicelulose e 21% de lignina (REDDY et al., 2012) em percentual de matéria seca. Além disso, o capim-elefante apresenta uma alta relação

C/N em torno de 26:1 (JANEJADKARN; CHAVALPARIT, 2014). Contudo, esses valores podem variar significativamente de acordo com variantes da espécie e condições de cultivo (SAWATDEENARUNAT et al., 2015).

5.3.3 – Teores de nitrogênio

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para os teores de nitrogênio (Tabela 11).

Tabela 11. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de nitrogênio (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	Capiaçu	Madeira	Pasto Panamá
Y0	2,5236 **($\pm 0,4084$)	2,5362 **($\pm 0,3824$)	2,4061 **($\pm 0,3148$)
A	-0,0223 *($\pm 0,0058$)	-0,0215* ($\pm 0,0055$)	-0,0199 **($\pm 0,0045$)
B	0 * (± 0)	0 * (± 0)	0* (± 0)
R ²	0,7890	0,8206	0,8750

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

As variedades de capim-elefante apresentaram teores máximos de nitrogênio aos 30 DAC, o que se justifica pelo predomínio de folhas verdes em detrimento dos colmos fibrosos. Aos 60 DAC houve abrupta redução nos teores de nitrogênio e estabilização dos teores deste elemento (Figura 9).

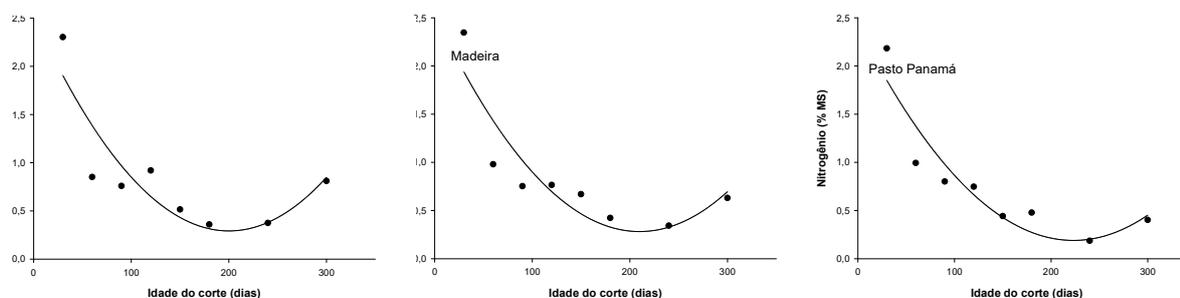


Figura 9. Valores simulados para os teores de nitrogênio em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

5.3.4 – Teores de lignina

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para os teores de lignina (Tabela 12).

Tabela 12. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de lignina (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	0,2053 ns ($\pm 1,0958$)	1,6187 ns ($\pm 0,8233$)	0,2053 ns ($\pm 2,3776$)
a	0,0931 ** ($\pm 0,0156$)	0,0718 ** ($\pm 0,0117$)	0,0931 ** ($\pm 0,0339$)
b	-0,0002 ns (± 0)	-0,0001 ns (± 0)	-0,0002 ns (± 0)
R ²	0,9217	0,8925	0,7592

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

Os teores de lignina na biomassa das variedades de capim-elefante apresentaram incrementos gradativos associados com as maiores idades de corte, atingindo valores máximos aos 180 DAC (BRS Capiaçú) e aos 240 DAC (Madeira e Pasto Panamá) (Figura 10).

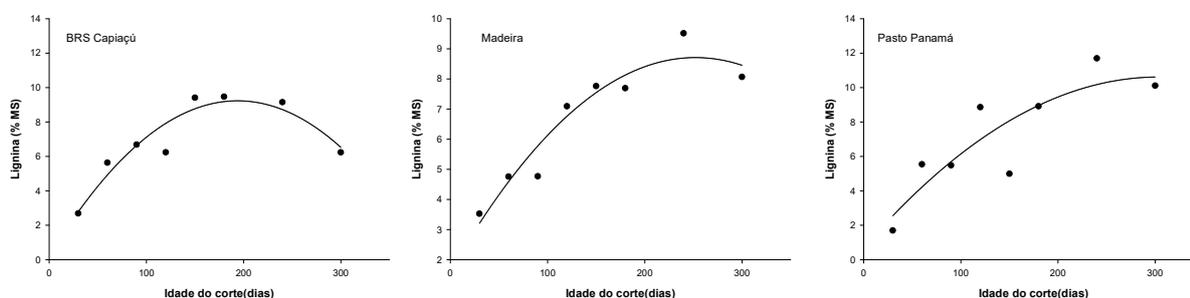


Figura 10. Valores simulados para os teores de lignina em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

Na medida em que o intervalo entre cortes aumenta e as plantas são colhidas mais jovens (3 a 4 meses), a porcentagem de folhas aumenta e a porcentagem de colmos diminui, com menor teor de lignina e maiores teores de fibras da parede celular, entretanto o corte com elevada frequência pode reduzir o vigor das rebrotas (QUEIROZ et al. 2000).

Quanto maior o grau de lignificação da biomassa mais significativamente afetada é a disponibilização de açúcares no processo de hidrólise da celulose (FEDENKO et al., 2013). Geralmente, as gramíneas perenes têm uma composição tecidual mais favorável para conversão em açúcares de cadeias mais simples quando comparadas com a biomassa lenhosa. As concentrações de lignina são negativamente correlacionadas com a liberação de açúcares e a eficiência de conversão da biomassa em energia química, sendo tipicamente menores em gramíneas perenes (161 a 192 mg g⁻¹) (CHEN; DIXON, 2007) quando comparadas com espécies lenhosas (157 a 279 mg g⁻¹) (STUDER et al., 2011).

Rueda et al. (2020) demonstraram que o conteúdo de lignina do capim-elefante aumenta em função da idade de corte da planta, diferindo também entre variedades e épocas do ano. Nas fases iniciais de crescimento, este conteúdo é baixo, entretanto, na medida em que a idade da

planta aumenta seu teor aumenta. De acordo com estes autores, os intervalos de corte mais longos proporcionam um incremento na produção anual de ponteiros (folhas verdes e parte emergente) em relação à produção de colmos. Por outro lado, os autores associaram longos intervalos de corte ao maior alongamento e à maior lignificação dos colmos.

5.3.5 – Teores de celulose

Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para os teores de celulose (Tabela 13).

Tabela 13. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de celulose (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	28,7661 **($\pm 2,2753$)	27,0118 **($\pm 2,7976$)	30,8617**($\pm 2,8172$)
A	0,1037 * ($\pm 0,0324$)	0,1483 * ($\pm 0,0399$)	0,0818 ns ($\pm 0,0402$)
B	-0,0003 * (± 0)	-0,0004 * ($\pm 0,0001$)	-0,0002 ns ($\pm 0,0001$)
R ²	0,7307	0,7829	0,5400

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

As três variedades de capim-elefante apresentaram aumentos nos teores de celulose aos 60 DAC, o que estaria associado ao aumento dos teores de carbono (Figura 8), a partir de quando ocorreu estabilização (Figura 11).

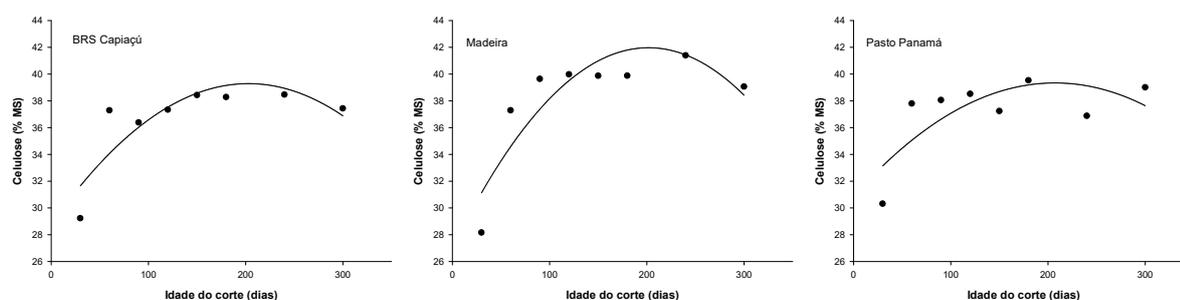


Figura 11. Valores simulados para os teores de em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

Em cultivo de capim-elefante no Estado da Flórida (EUA), o teor de celulose aumentou até 42 DAC tanto na estação chuvosa quanto na estação seca e manteve-se estável até o final do ciclo de cultivo. Em relação aos colmos, o teor de celulose manteve-se estável em ambas as estações, apresentando valor máximo aos 98 DAC (Na et al., 2016).

Para a produção de biocombustível, a qualidade do material é afetada positivamente por altos teores de celulose e negativamente por altos teores de lignina (MOSIER et al., 2005). O material contendo altos teores de celulose torna-se uma fonte potencial de açúcares fermentados, que podem ser convertidos por enzimas em etanol (BURANOV; MAZZA, 2008) ou na produção de biogás via processo de biodigestão anaeróbia (PIÑAS et al., 2018).

5.3.6 – Teores de hemicelulose

Os coeficientes ajustados não foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) para os teores de hemicelulose (Tabela 14).

Tabela 14. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para o teor de hemicelulose (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	31,3638 **($\pm 3,3107$)	31,8024 **($\pm 2,7583$)	31,1577 **($\pm 2,9314$)
A	-0,0029 ns ($\pm 0,0472$)	-0,0021 ns ($\pm 2,7583$)	0,0209 ns ($\pm 0,0418$)
B	0 ns ($\pm 0,0001$)	0 ns ($\pm 0,0001$)	0 ns ($\pm 0,0001$)
R ²	0,0085	0,0051	0,2858

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

No entanto, estes teores apresentaram uma tendência de estabilidade independentemente da idade de corte. A variedade Pasto Panamá também apresentou oscilações nos teores de hemicelulose e uma acentuada redução aos 180 DAC, mantendo-se em níveis mínimos nas idades mais avançadas (Figura 11).

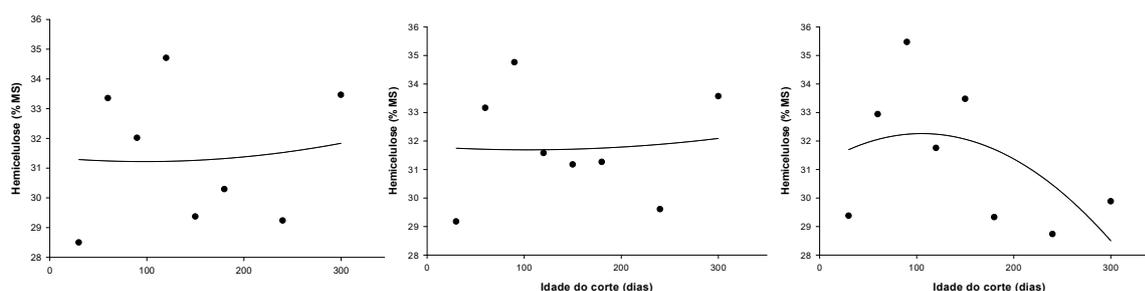


Figura 12. Valores simulados para os teores de em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

Em cultivo de capim-elefante no Estado da Flórida (EUA), o teor de hemicelulose aumentou nas folhas até 70 dias após o corte (DAC) durante a estação chuvosa e até 98 DAC durante a estação seca. Em relação aos colmos, o teor de hemicelulose aumentou até 56 DAC durante a estação chuvosa, apresentando valor máximo aos 98 DAC (Na et al., 2016).

As folhas verdes apresentam maiores conteúdos de hemicelulose e menores teores de celulose e lignina em relação aos colmos. Durante a estação chuvosa, a biomassa do ciclo de rebrota apresenta maior concentração de hemicelulose e menor grau de lignificação registrado em comparação com a biomassa da estação seca. As folhas apresentaram em média 138 g kg^{-1} a mais de hemicelulose do que a celulose durante a estação chuvosa, e o caule apresentou 100 g kg^{-1} a mais de celulose do que a hemicelulose durante a estação seca (NA et al., 2016).

5.3.7 – Teores de cinzas

O ajuste do modelo exponencial para o teor de cinzas (%) apresentou valores de 0,71 (BRS Capiaçú), de 0,71 (Madeira) e de 0,7448 (Pasto Panamá), o que indicou que o modelo explica a maior parte da variabilidade desta variável nas três cultivares de capim-elefante. Os coeficientes ajustados foram estatisticamente significativos pelo teste t ($p \leq 0,01$) (Tabela 15).

Tabela 15. Valores estimados dos parâmetros do modelo de regressão para os teores de cinzas (%) e seus coeficientes de determinação da regressão.

Parâmetros	Cultivares		
	BRS Capiaçú	Madeira	Pasto Panamá
Y0	8,3883 **($\pm 1,3230$)	8,7522 **($\pm 1,8580$)	8,8581 **($\pm 1,4183$)
a	-0,0651 *($\pm 0,0189$)	-0,0580 ns ($\pm 0,0265$)	-0,0631 *($\pm 0,0202$)
b	0,0002 *(± 0)	0,0001 ns(± 0)	0,0001 ns (± 0)
R ²	0,7100	0,5769	0,7448

** significativo a $p \leq 0,01$; * significativo a $p \leq 0,05$ e ns não significativo pelo teste t.

As variedades BRS Capiaçú e Pasto Panamá apresentaram máximos teores aos 30 DAC, com redução e estabilização a partir dos 60 DAC. Já, a variedade Madeira apresentou máximo teor de cinzas aos 60 DAC, com redução e estabilização nos valores desta variável somente a partir dos 90 DAC (Figura 13).

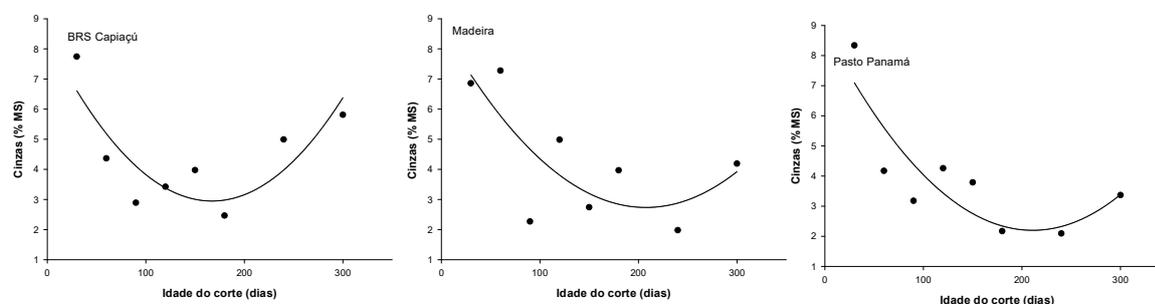


Figura 13. Valores observados para os teores de cinzas em três variedades de capim-elefante e suas respectivas curvas ajustadas pelo modelo de regressão.

A qualidade da biomassa para fins energéticos depende da plataforma de aplicação da matéria-prima, assim para fins de geração de energia térmica esta qualidade relacionada à quantidade de energia gerada na sua completa combustão (diretamente relacionada com maiores teores de lignina), já para fins de produção de etanol celulósico maiores teores de celulose são desejáveis. No caso da produção de biogás e biometano, a biomassa rica em fibras e com altos teores de carbono orgânico favorecem os processos envolvidos no processo de fermentação anaeróbia (MARAFON et al., 2016b).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cultivos energéticos dedicados à produção de biomassa, como o do capim-elefante, são excelentes estratégias de descentralização da produção de energia, especialmente em locais onde não há oferta de matérias-primas residuais ou de cultivo de biomassas tradicionais, por possibilitar a produção de uma fonte de biomassa com padrões de qualidade que permitem seu uso em processos de produção de biocombustíveis e de bioeletricidade.

Gramíneas forrageiras com elevadas taxas de crescimento e que apresentam elevadas produções de biomassa rica em fibras e lignina como o capim-elefante, podem aumentar a disponibilidade de biomassa em escala industrial, desde que tenham seu cultivo alinhado ao planejamento de plantio e colheita, levando em conta as peculiaridades edafoclimáticas da região. Na região da Zona da Mata de Alagoas, a disponibilidade hídrica é caracterizada com um período seco pronunciado, principalmente entre os meses de outubro a fevereiro, associado à reduzida profundidade do sistema radicular causada pela camada adensada de solo, o que se constitui em um dos principais problemas limitantes para a obtenção de maiores produtividades. Assim, práticas de cultivo que favoreçam a conservação e a melhoria da fertilidade do solo, associadas a um manejo eficiente dos recursos naturais, ao uso sustentável de insumos e a estratégias adequadas de manejo de corte das plantas (época e frequência) precisam ser estudadas e difundidas, a fim de favorecer um aumento sustentável da produtividade do capim-elefante para uso energético da biomassa.

Os dados levantados no presente estudo podem servir para compor um banco de dados para subsidiar o zoneamento agrícola de risco climático com objetivo de maximizar a produção de biomassa a partir da definição das melhores épocas de plantio e de corte na região estudada. Neste sentido, vale ressaltar que, embora as maiores frequências de corte possam maximizar os rendimentos do capim-elefante e reduzir consideravelmente os custos de colheita do material, pode ocorrer a redução do potencial de rebrota das plantas devido ao insuficiente tempo para armazenamento de reservas nutricionais nas suas raízes. Em um mesmo ano, pode-se obter dois ciclos produtivos, um mais curto durante a época de maior ocorrência de chuvas e outro mais longo, onde as plantas conseguem superar as condições adversas em termos de disponibilidade hídrica pois se encontram em um estágio fenológico de maturidade (acima de 6 meses) já no início do período adverso, sendo colhido com 8 ou mais meses. Assim, o manejo agrônomo das áreas de cultivo deve considerar a adoção de estratégias de corte adequada para cada região, visando atender a demanda de matéria-prima das indústrias em função das melhores épocas e idades de corte para proporcionar máximo rendimento de biomassa e longevidade da capineira.

7. CONCLUSÕES

Os modelos de crescimento semiempíricos (logístico, PicoLog e regressão) estimam de maneira eficiente as variáveis de crescimento, produção e qualidade da biomassa das três variedades de capim-elefante, com exceção do diâmetro do colmo e do teor de hemicelulose.

A altura média da planta aumenta linearmente até 120 (BRS Capiapu) e 150 dias após o corte (Madeira e Pasto Panamá), a partir de quando ocorre estabilização desta variável.

Os maiores índices de perfilhamento ocorrem 30 dias após o corte, com redução e estabilização neste índice a partir dos 60 dias após o corte nas três variedades de capim-elefante.

O índice de área foliar aumenta aos 60 dias após o corte nas três variedades de capim-elefante e um novo aumento neste índice ocorre aos 120 dias após o corte na variedade Madeira. As variedades BRS Capiapu e Madeira apresentam reduções no índice de área foliar aos 150 dias após o corte e, na variedade Pasto Panamá, esta redução ocorre aos 180 dias após o corte.

Os incrementos no acúmulo de biomassa seca da parte aérea são constantes até 120 dias após o corte na variedade Madeira, até os 150 dias após o corte na variedade Pasto Panamá e até os 240 dias após o corte na cultivar BRS Capiapu, com estabilização após estas épocas.

O teor de umidade da biomassa das três variedades de capim-elefante atinge o valor máximo de 83,9% aos 60 dias após o corte (junho) e sofre posteriores reduções até aos 240 dias após o corte (novembro), quando seu valor médio passa para 59,8%.

Os teores médios de carbono aumentam e os de nitrogênio diminuem a partir dos 60 dias após o corte nas três variedades de capim-elefante, com posterior estabilização.

Os teores médios de celulose das variedades de capim-elefante aumentam a partir dos 60 dias após o corte (37,46%) e se mantêm estáveis até os 300 dias após o corte.

Os teores médios de lignina das variedades de capim-elefante aumentam paralelamente com a idade de corte, até os 180 dias após o corte na BRS Capiapu (9,46%) e até os 240 dias após o corte nas variedades Madeira (9,51%) e Pasto Panamá (11,69%).

Os teores de cinzas atingem valores máximos aos 30 dias após o corte nas variedades BRS Capiapu (7,74%) e Pasto Panamá (8,34%) e aos 60 dias após o corte na variedade Madeira (7,27%), com posterior redução e estabilização nestes valores até os 300 dias após o corte.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11956 - Coque - Determinação do poder calorífico superior - Método de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 1990. 6p.

ALCÂNTARA, P.B.; ALCÂNTARA, V.B.G.; ALMEIDA, J.E. Estudo de vinte e cinco prováveis variedades de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 37, n. 2, p. 279-302, 1980.

ANDERSON, W.; CASLER, M.; BALDWIN, B. Improvement of perennial forage species as feedstock for bioenergy. In: VERMERRIS, W. (Ed.). **Genetic improvement of bioenergy crops**. Springer, 2008. p. 308- 345.

ANDERSON, W.F., SARATH, G., EDME, S. Dedicated Herbaceous Biomass Feedstock Genetics and Development. **Bioenergy Research**, v. 9, p. 399–411, 2016.

ANDRADE JUNIOR, A. S.; NOLETO, D. H.; BASTOS, E. A.; MOURA, M. S. B.; ANJOS, J. C. R. Demanda hídrica da cana-de-açúcar, por balanço de energia, na microrregião de Teresina, Piauí. **Agrometeoros**, v.25, n.1, p.229-238, 2017

BARROS, A. H. C. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos, 2012. 32 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 211).

BARROS, A. H. C.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; J TABOSA, N. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas: Aptidão climática para culturas agrícolas**. Embrapa Solos: Recife. 2012. (Relatório Técnico). 104 p.

BOEHMEL, C. LEWANDOWSKI, I. CLAUPEIN, W. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. **Agricultural Systems**, v. 96, n. 1-3, p. 224-236, 2008.

BRUNKEN, J.N. A systematic study of *Pennisetum* Sect. *Pennisetum* (Gramineae). **American Journal of Botany**, v. 64, n. 2, p.161-176, 1977.

BURANOV, A.; MAZZA, G. Lignin in straw of herbaceous crops. **Industrial Crop and Products**, v. 28, p. 237–259, 2008.

BYRT, C.S.; GROF, C.P.L.; FURBANK, R. T. C4 plants as biofuel feedstocks: optimising biomass production and feedstock quality from a lignocellulosic perspective. **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 53, p. 120–135, 2011.

CHEN, F.; DIXON, R.A. Lignin modification improves fermentable sugar yields for biofuel production. **Nature Biotechnology**, v. 25, p. 759–761, 2007.

CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão de Pessoas: o novo papel dos recursos humanos nas organizações**. Barueri: Manole, 2014. 512 p.

DANTAS NETO, J.; FIGUEREDO, J. L. C.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, H. M. AZEVEDO, C. A. V. Resposta da cana-de-açúcar, primeira soca, a níveis de irrigação e adubação de cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.283-288, 2006.

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; MELLO, A.C.L. Aspectos morfofisiológicos do capim-elefante. In: LIRA, M. A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX, J.C.B.; MELLO, J.C.L. MELLO, A.C.L. **Capim-elefante: fundamentos e perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010. p. 51-67.

FERRARIS, R. The effect of photoperiod and temperature on the first crop and ratoon growth of *Pennisetum purpureum* Schum. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 29, p. 941–950, 1978.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A Computer Statistical Analysis System. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, F.M.; LEITE, R. V.; MALIKOUSKI, R. G.; PEIXOTO, M. A.; BERNARDELI, A.; ALVES, R. S.; MAGALHAES JR., W. C.; ANDRADE, P. R. G.; BHERING, L. L.; MACHADO, J. C. Bioenergy elephant grass genotype selection leveraged by spatial modeling of conventional and high-throughput phenotyping data. **Journal of Cleaner Production**, v. 363, n. 132286, 2022.

FREITAS, E. V.; LIRA, M. A.; SIVA, M. C.; DIAS, F. M. Capim-elefante: origem, taxonomia e caracterização. In: LIRA, M. A.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX, J.C.B.; MELLO, J.C.L. MELLO, A.C.L. **Capim-elefante: fundamentos e perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010. p. 15-28.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analysis: apparatus, reagents, procedures and some applications**. Agricultural Handbook, Washington, 1967, 379p.

GONÇALVES, D.A; MENEZES, G. **O capim elefante**. Zootecnia, Nova Odessa, v.20, n.4, p.229-259. 1982.

HANNA, W. W.; CHAPARRO, C. J.; MATHEWS, B. W.; BURNS, J. C.; SOLLENBERGER, L. E. Perennial Pennisetums. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E.

(Ed.) **Warm-Season (C4) Grasses**. Madison, WI: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2004. p. 503-535.

JANEJADKARN, A.; CHAVALPARIT, O. Biogas production from Napier grass (Pak Chong 1) (*Pennisetum purpureum* × *Pennisetum americanum*). **Advanced Materials Research**, v. 856, p. 327–332, 2014.

KNOLL, J.E.; ANDERSON, W.F.; RICHARD, E.P.; DORAN-PETERSON, J.; BALDWIN, B.; HALE, A.L.; VIATOR, R.P. Harvest date effects on biomass quality and ethanol yield of new energycane (*Saccharum* hyb.) genotypes in the Southeast USA. **Biomass Bioenergy** 56:147–156. (2013)

LÉDO, F. J. S.; MACHADO, J. C. Construindo um ideótipo de gramínea para produção de energia. In: SOUZA, F. H. D.; MATTA, F. P.; FÁVERO, A. P. **Construção de ideótipos de gramíneas para usos diversos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013, p. 227-236.

LEWANDOWSKI, J.C. CLIFTON-BROWN, B. ANDERSSON, G. BASCH, D.G CHRISTIAN, U. JØRGENSEN Environment and harvest time affects the combustion qualities of *Miscanthus* genotypes, **Agron. J.** 95 (5 (2003)1274-1280.

LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX, J. C. B.; MELLO, J. C. L. MELLO, A. C. L. **Capim-elefante: fundamentos e perspectivas**. Recife: IPA/UFRPE, 2010. 229 p.

LYRA, G. B.; ROCHA, A. E. Q. DA; LYRA, G. B.; SOUZA, J. L. DE; TEODORO, I. Crescimento e produtividade do milho, submetido a doses de nitrogênio nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **Revista Ceres**, v. 61, n. 4, p. 578-586, 2014.

LYRA G. B.; ZOLNIER, S; COSTA L. C., SEDIYAMA, G. C., SEDIYAMA, M. A. N. Modelos de crescimento para alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em sistema hidropônico sob condições de casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, p. 69-77, 2003.

MARAFON, A.C.; MACHADO, J.C.; AMARAL, A.F.C.; GUIMARÃES, V. S.; SANTOS, J. P. **Frequência de cortes em genótipos de capim-elefante na produção de biomassa para fins energéticos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019. 34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 146).

MARAFON, A.C.; SANTIAGO, A.D.; CAMARA, T.M., LYRA, G. B.; SALOMON, K. R.; GUIMARÃES, V. S. **Biomassa e energia: situação atual e perspectivas para o estado de Alagoas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016a. 41 p. (Documentos, 209).

MARAFON, A.C.; SANTIAGO, A. D.; AMARAL, A. F. C.; BIERHALS, A. N.; PAIVA, H. L.; GUIMARAES, V. dos S. **Uso da Biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016b. 30 p. (Documentos, 211).

MARAFON, A.C.; SANTIAGO, A.D.; CAMARA, T.M.; RANGEL, J.H.A.; AMARAL, A.F.C. LEDO, F.J.S.; BIERHALS, A.N.; PAIVA, H.L. **Potencial produtivo e qualidade da biomassa de capim-elefante para fins energéticos**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2014. 6p. (Circular Técnica, 68).

MARQUES, M. O.; MACIEL, B. F.; FIGUEIREDO, I. C.; MARQUES, T. A., Considerações sobre a qualidade da matéria-prima. In: MARQUES M. O., MUTTON, M. A., NOGUEIRA T. A. R., TASSO JÚNIOR, L. C., NOGUEIRA, G. A., BERNARDI, J. H. **Tecnologias na Agroindústria Canavieira**. Editora: FCAV p.9-16. 2008, p.319.

MOSIER, N.; WYMAN, C. E.; DALE, B. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 673–686, 2005.

NA, C. I., SOLLENBERGER, L. E., FEDENKO, J. R., ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R. Seasonal changes in chemical composition and leaf proportion of elephantgrass and energycane biomass. **Industrial Crops and Products**, v. 94, p. 107–116, 2016.

NA, C.; SOLLENBERGER, L. E.; ERICKSON, J. E.; WOODARD, K. R.; VENDRAMINI, J. M. B.; SILVEIRA, M. L. Management of perennial warm-season bioenergy grasses. I. Biomass harvested, nutrient removal, and persistence responses of elephantgrass and energycane to harvest frequency and timing. **Bioenergy Research**, v. 8, p. 581-589, 2015.

OLIVEIRA, E.S.; DAHER, R.F.; PONCIANO, N.J.; GRAVINA, G.A.; SANT'ANA, J.A.A.; GOTTARDO, R.D. Variation of morphoagronomic and biomass quality traits in elephant grass for energy purposes according to nitrogen levels. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 11, p.1685-1696, 2015.

PEDREIRA, J.V.S.; MATTOS H.B. Crescimento estacional de cultivares de capim elefante. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa v. 39, n. 1, p. 29-41, 1982.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PEREIRA, A.V.; LÉDO, F.J.S. Melhoramento genético de *Pennisetum purpureum*. In: RESENDE, R.M.S.; DO VALLE, C. B.; JANK, L. **Melhoramento de Forrageiras Tropicais**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte. 2008, p. 89-116.

PIÑAS, J.A.V.; VENTURINI, O.J.; LORA, E. E.S.; DEL OLMO, O.A.; ROALCABA, O.D.C. Technical assessment of monodigestion and co-digestion systems for the production of biogas from anaerobic digestion in Brazil. **Renewable Energy**, v. 117, p. 447-458, 2018.

QUEIROZ, F. J. L.; DA SILVA, D. S.; DO NASCIMENTO, I. S. Dry matter production and quality of elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) cultivar Roxo at different cutting ages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 69–74, 2000.

QUESADA, D.M.; BODDEY, R.M.; REIS, V.M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Seropédica: Embrapa, 2004, 4 p. (Circular Técnica, 8).

REDDY, K. O.; MAHESWARI, C. U.; SHUKLA, M.; RAJULU, A. V. Chemical composition and structural characterization of Napier grass fibers. **Materials Letters**, v. 67, n. 1, p. 35–38, 2012.

RENGSIRIKUL, K.; ISHII, Y.; KANGVANSACHOL, K.; PRIPANAPONG, P.; SRIPICHITT, P.; PUNSUVON, V. VAITHANOMSAT, P.; NAKAMANEE, G., TUDSRI, S. Effects of inter-cutting interval on biomass yield, growth components and chemical composition of napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schumach) cultivars as bioenergy crops in Thailand. **Grassland Science**, 57, 135–141, 2011.

ROCHA, J. R.A.S.C.; MACHADO, J.C.; CARNEIRO, P.C.S.; CARNEIRO, J.C.; RESENDE, M.D.V.; LEDO, F.J.S.; CARNEIRO, J.E.S. Bioenergetic potential and genetic diversity of elephantgrass via morpho-agronomic and biomass quality traits. **Industrial Crops and Products**, v. 95, p. 485-492, 2017.

RUEDA, J. A., ORTEGA, J. E., ENRÍQUEZ, Q. F. J., PALACIOS, R. E.; RAMÍREZ, O. S. Tiller population dynamics in eight cultivars of elephant grass during undisturbed growth. **African Journal of Range Forage Science**, v. 35, p. 109–119, 2018.

RUEDA, J. A.; GUERRERO-RODRÍGUEZ, J. D.; RAMÍREZ-ORDOÑES, S.; AGUILAR-MARTÍNEZ, C. U.; HERNÁNDEZ-MONTIEL, W.; ORTEGA-JIMÉNEZ, E. Morphological composition and fiber partitioning along regrowth in elephant grass CT115 intended for ethanol production. **Scientific Reports**, v. 10, n. 15118e, 2020.

RUEDA, J. A.; ORTEGA, J. E., ENRÍQUEZ, Q. F. J., PALACIOS, R. E.; RAMÍREZ, O. S. Growth, yield, fiber content and lodging resistance in eight varieties of *Cenchrus purpureus* (Schumach.) Morrone intended as energy crop. **Biomass Bioenergy**, v. 88, p. 59–65, 2016.

SAMSON, R.; MANI, S.; BODDEY, R.; SOKHANSANJ, S.; QUESADA, D.; URQUIAGA, S.; REIS, V.; HOLEM, C. The potential of C4 perennial grasses for developing a global BIOHEAT industry. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Chicago, v. 24, p. 461-495, 2005.

SAWATDEENARUNAT, C.; SURENDRA, K. C.; TAKARA, D.; OECHSNER, H.; KHANAL, S. K. Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. **Bioresource Technology**, v. 178, p. 178–186, 2015.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 2.ed. Viçosa: UFV, 1990. 165p.

SILVA, S. I. D. S. Biomassa para geração de energia: eucalipto, cana-energia e bagaço de cana-de-açúcar. **Monografia** (Tecnologia em Produção Sucroalcooleira). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2016.

STUDER, M.H.; DEMARTINI, J.D.; DAVIS, M.F.; SYKES, R. W.; DAVISON, B.; KELLER, M.; TUSKAN, G. A.; WYMAN, C. E. Lignin content in natural *Populus* variants affects sugar release. **PNAS**, v.108, p. 6300–6305, 2011.

SUMIYOSHI, Y.; CROW, S.E.; LITTON, C.M.; DEENIK, J. L.; TAYLOR, A.D., TURANO, B. Below ground impacts of perennial grass cultivation for sustainable biofuel feedstock production in the tropics. **GCB Bioenergy**, v. 9, p. 694-709, 2017.

TEODORO, I.; SOUZA, J. L.; BARBOSA, G. V.; MOURA FILHO, G.; DANTAS NETO, J.; ABREU, M. L. Crescimento e Produtividade da Cana-de-açúcar em Cultivo de Sequeiro nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **STAB**, v. 27, p. 31-34, 2009.

TEW, T.L.; COBILL, R.M. Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of Bioenergy Crops**. Springer New York, 2008. p. 249- 272.

TOJO SOLER, C. M. Uso do modelo Ceres-Maize para previsão de safra do milho “safrinha”. 2004. 146 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

VIDAL, A. K. F.; DAHER, R. F.; FREITAS, R. S.; STIDA, W. F.; LÉDO, F. J. S.; SILVA, V. B.; ENTRINGER, G. C.; TARDIN, F. D.; GRAVINA, G. A.; VIVAS, M.; SOUZA, A. G.;

AMBRÓSIO, M. SANTANA, J. G. S.; FARIAS, J. E. C. Growth curve in elephant grass genotypes based on morpho-agronomic traits for energy production. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 82, n. 1, 2022.

VIOLANTE, M. H. S. R. Potencial de produção de cana-de-açúcar em áreas agrícolas marginais no Brasil. 112f. **Dissertação** (Mestrado em Agroenergia) – Curso de Pós-graduação em Economia, Escola de Economia de São Paulo, São Paulo, 2012.

WOODARD, K. R.; PRINE, G. M. Forage yield and nutritive value of elephant grass as affected by harvest frequency and genotype. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 541–546, 1991.

WOODARD, K. R.; PRINE, G. M.; BACHREIN, S. Solar energy recovery by elephant grass, energycane, and elephant millet canopies. **Crop Science**, v. 33, p. 824-830, 1993.